

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/35_2021

УДК 552.578.061.4:551.762.3(571.122)

Лебедева И.А., Карих Т.М., Кудаманов А.И.ООО «Тюменский нефтяной научный центр» (ООО «ТННЦ»), Тюмень, Россия, ialebedeva2@tnnc.rosneft.ru, tmkarikh@tnnc.rosneft.ru, aikudamanov@tnnc.rosneft.ru

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СУПЕРКОЛЛЕКТОРОВ ПЛАСТОВ ГОРИЗОНТА ЮВ₁ ВАСЮГАНСКОЙ СВИТЫ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

В период усиления тектонической активности в районе Бахилковского мегавала создались условия для формирования суперколлекторов в терригенных резервуарах горизонта ЮВ₁ Бахилковского нефтегазоконденсатного месторождения, проявившиеся в интенсивной гидротермальной проработке песчаников с изначально высокими значениями фильтрационно-емкостных свойств. Процессы растворения преобладали вблизи каналов поступления термальных флюидов, а на удалении от каналов, по мере снижения температуры и пересыщения раствора продуктами растворения, в таком же хорошем коллекторе преобладали процессы вторичного минералообразования. При «угасании» импульса тектонической активности - снижение объема гидротерм и, вероятно, температуры, разгрузка растворенных компонентов происходила в коллекторах, расположенных вблизи каналов поступления флюидов.

Наличие в терригенных резервуарах прослоев суперколлекторов может оказать критическое влияние на процесс разработки залежей, выражающееся в ускоренном обводнении эксплуатационных скважин, поэтому области распространения суперколлекторов необходимо выявлять и картировать.

***Ключевые слова:** суперколлектор, горизонт ЮВ₁ васюганской свиты, Бахилковское нефтегазоконденсатное месторождение, Западная Сибирь.*

Введение

Распределение коллекторских свойств в породах пласта не всегда контролируется только седиментологическими параметрами, нередко аналогичные по размерности и сортировке породы характеризуются заметно различными значениями пористости и проницаемости. Процессы диагенеза-катагенеза, проявленные на больших площадях, приводят к равномерным преобразованиям осадков, а затем и пород на соседних участках. Но иногда одни и те же литотипы (гранулотипы – по размерности и сортировке) на соседних участках относятся к разным типам коллектора, что является отражением наложенных вторичных изменений различной интенсивности, связанных, как правило, с дополнительным прогревом вблизи активных разломных зон.

Впервые понятие «суперколлектор» введено М.А. Политыкиной при изучении продуктивных отложений Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения [Политыкина, 1969]. Автором выделены две его разновидности – плитчатый, характерен для карбонатных отложений, и массивно-рыхлый, встречается в терригенном разрезе. В данной работе под суперколлектором понимается прослой небольшой толщины в составе резервуара,

проницаемость которого превышает проницаемость соседних прослоев коллекторов на один-два порядка.

Известно, что наличие суперколлекторов в продуктивном пласте часто приводит к низким значениям коэффициента извлечения нефти и высокой обводненности добываемой продукции. Иными словами, присутствие в резервуарах суперколлекторов может оказать критическое влияние на результаты разработки, поэтому области их распространения должны быть учтены в проектных документах. Решение этой задачи осложняется тем, что суперколлекторы, как правило, не могут быть выделены по материалам стандартного комплекса геофизических исследований скважин (ГИС).

Цель исследования – выяснение условий формирования терригенных суперколлекторов горизонта ЮВ₁ (пласты ЮВ₁¹⁻², ЮВ₁³) Бахилковского нефтегазоконденсатного месторождения как основы для дальнейшей разработки критериев их картирования.

По мнению авторов, формирование терригенного суперколлектора обусловлено как первичными условиями седиментации, так и вторичными изменениями пород. Соответственно в статье последовательно рассмотрены:

- общая характеристика объекта исследования, влияние суперколлекторов на разработку месторождения;
- условия осадконакопления резервуаров горизонта ЮВ₁ (пласты ЮВ₁¹⁻², ЮВ₁³), а также влияние на них последующей дизъюнктивной тектоники;
- литологическая характеристика суперколлекторов, коллекторов и непроницаемых песчаников.

В итоговой части сформулированы представления авторов об условиях формирования терригенных суперколлекторов в объекте исследования. Полученные выводы являются актуальными, как минимум, для Бахилковского месторождения Западно-Сибирской плиты и прилегающих лицензионных участков (рис. 1).

Общая характеристика объекта исследования, влияние суперколлекторов на разработку месторождения

Бахилковское месторождение открыто в 1983 г. поисковыми скважинами 50Р и 51Р. Месторождение - многопластовое, этаж нефтегазоносности определен от юрских до нижнемеловых отложений. Основными объектам разработки с 1987 г. являются пласты ЮВ₁¹⁻² и ЮВ₁³, содержащие 95,5% геологических запасов нефти Бахилковского месторождения. Основная доля извлекаемых запасов нефти (68%) также сконцентрирована в пластах ЮВ₁¹⁻² и ЮВ₁³, объединенных в единый объект разработки – ЮВ₁.

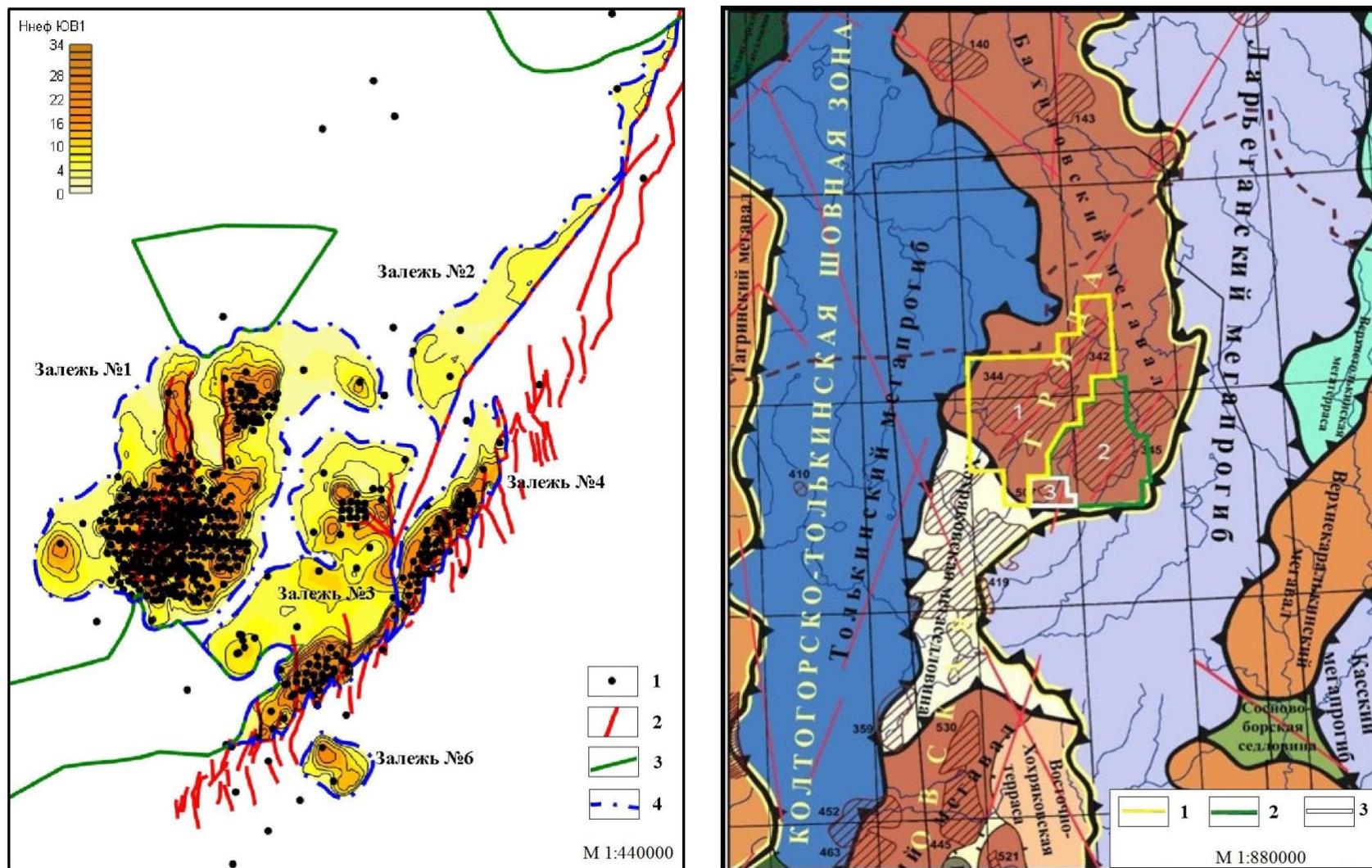


Рис. 1. Карта суммарных нефтенасыщенных толщин по пластам ЮВ₁¹⁻² и ЮВ₁³ Бахилковского месторождения (слева) и выкопировка центральной части тектонической карты Западно-Сибирской плиты (справа)

Слева: 1 - скважины пробуренные на объект разработки ЮВ₁; 2 - разломы; 3 - зоны глинизации; 4 - суммарный контур нефтеносности объекта разработки ЮВ₁. Справа: 1 - Бахилковский лицензионный участок, 2 - Верхнеколик-Еганский лицензионный участок, 3 - Сусликовский лицензионный участок.

Согласно тектонической схеме мезозойско-кайнозойского ортоплатформенного чехла Западно-Сибирской геосинеклизы (под редакцией В.И. Шпильмана, Н.И. Змановского, Л.Л. Подсосовой, 1998 г.) Бахилловское месторождение расположено на южном окончании Бахилловского мегавала (структуры II порядка), который входит в структурно-тектонический элемент I порядка - Васюгано-Александровскую гряду, ограниченную с запада и востока Толькинским и Ларьеганским мегапрогибами, соответственно (см. рис. 1 справа).

Суперколлекторы выявлены в горизонте ЮВ₁, только в пластах ЮВ₁¹⁻², в районе залежи № 4 (рис. 1 слева). При вводе ее в разработку в 2008 г. достигнут максимальный уровень добычи нефти (491 тыс. т) и жидкости (1325,8 тыс. т) за всю историю разработки эксплуатационного объекта ЮВ₁ (рис. 2). Входные дебиты по нефти превышали 100 т/сут, но быстрое обводнение продукции скважин привело к закономерному снижению уровней добычи нефти в целом по Бахилловскому месторождению до отметки 142 тыс.т/год (2014 г.). По состоянию на 01.09.2020 г. текущий коэффициент извлечения нефти равен 0,065 д.ед при утвержденном 0,401, текущий водонефтяной фактор – 3,3.

Из приведенных данных следует, что наличие суперколлектора оказало значительное влияние на разработку объекта ЮВ₁. Учет степени влияния для снижения рисков разработки осложняется тем, что суперколлекторы не имеют уверенного отражения на диаграммах стандартного комплекса ГИС. Так, на Бахилловском месторождении для пластов ЮВ₁¹⁻² и ЮВ₁³ коэффициент проницаемости рассчитан по зависимости $K_{пр}=f(K_{п})$. Вследствие близости коэффициентов пористости у суперколлектора и залегающих рядом «обычных» коллекторов, наличие суперколлектора установлено только по результатам исследования керна (табл. 1, рис. 3). В исследуемой скв. 1600 проницаемость отдельных прослоев по керновым данным достигает 1326,7 мД (о.о. 2727,6 м, а.о.2520,3 м).

Проведенные на пластах ЮВ₁¹⁻² и ЮВ₁³ Бахилловского месторождения петрофизические и литологические исследования показали, что распределение фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) контролируется как условиями осадконакопления, так и наложенными постседиментационными изменениями.

Отложения пласта ЮВ₁³ не обладают свойствами суперколлектора (табл. 2) и, следовательно, не представляют интереса в периметре проведенных исследований. Поэтому далее рассмотрены, во-первых, условия седиментации резервуаров, во-вторых, проявления последующей дизъюнктивной тектоники для пластов ЮВ₁¹⁻².

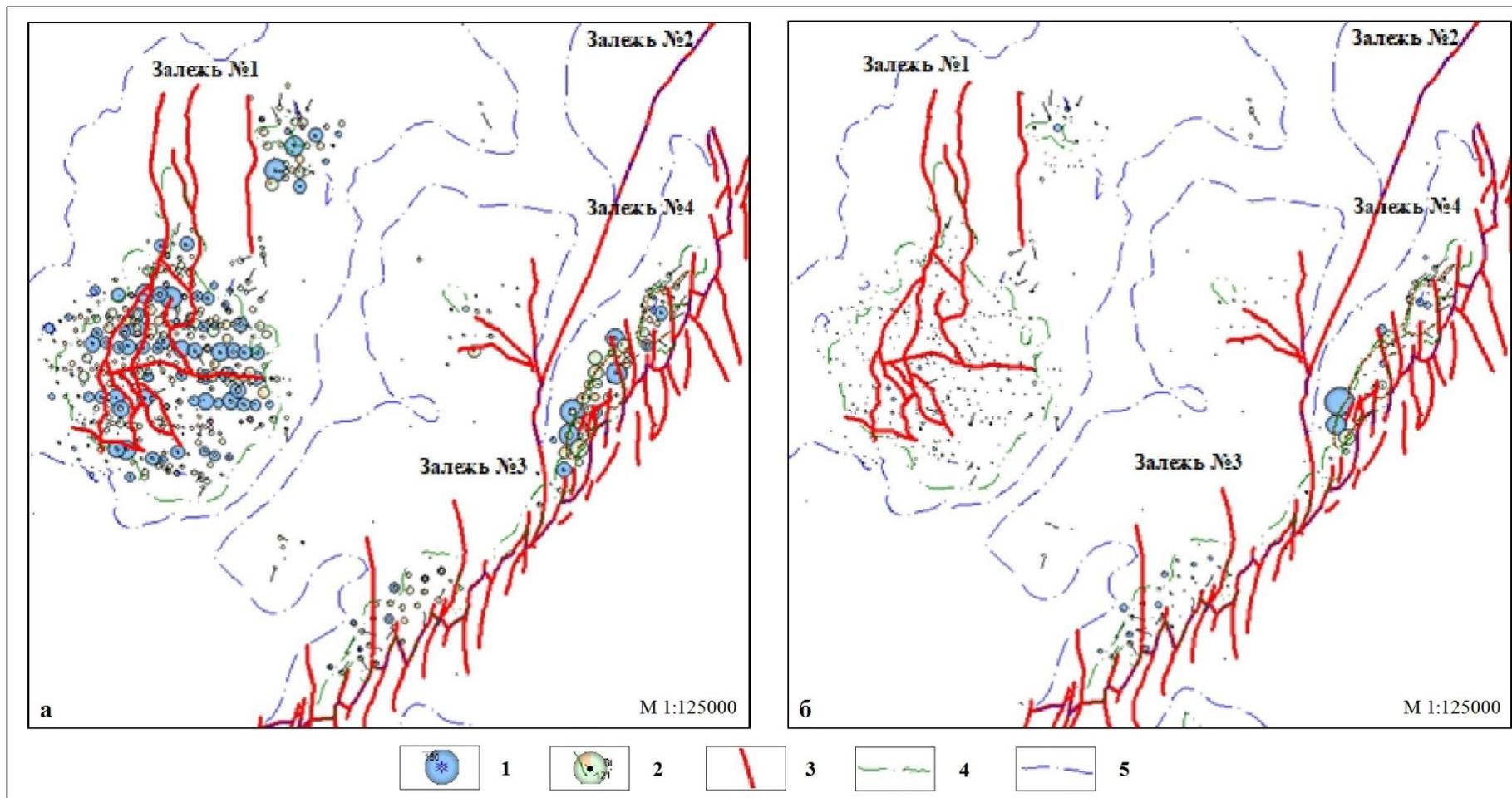


Рис. 2. Карты объекта разработки пласта ЮВ₁ Бахилловского месторождения

а - накопленные отборы на 01.09.2020 г.; *б* - текущие отборы на 01.09.2020 г.

1 - нагнетательные скважины объекта разработки ЮВ₁; *2* - добывающие скважины объекта разработки ЮВ₁; *3* - разломы; *4* - внутренний суммарный контур нефтеносности объекта разработки ЮВ₁; *5* - внешний суммарный контур нефтеносности объекта разработки ЮВ₁.

Таблица 1

Сравнение фильтрационно-емкостных свойств по керну (с описанием текстурных особенностей) и геофизических исследований скважин пласта ЮВ₁¹⁻² Бахиловского месторождения

н/п	Номер скважины	Пласт	Керн						ГИС	
			Порода	Текстура	Характерные особенности (шлифы)	Класс коллектора, по А.А. Ханину	Кп по гелию, %	Кпр по Клинкенбергу, мД	Кп, %	Кпр, мД
1	153П	ЮВ ₁ ¹⁻²	Песчаник крупно-среднезернистый, граувакковый аркоз, с кварцевым цементом регенерации, поровым каолининовым, карбонатным цементом, интенсивно пиритизированный.	Слабо выраженная микрослоистая за счет ориентировки некоторых удлиненных обломков.	Эпигенез ухудшает коллекторские свойства - поры сужены или совсем заросли, каналы перекрыты аутигенным кварцем. Первичный размер и форма кварцевых зерен искажены регенерацией. УВ запечатаны аутигенным кварцем.	5	11,0	1,1	12,4	0,9
				Малозаметная микрослоистость намечается ориентировкой некоторых удлиненных обломков.	Уменьшение аутигенного кварца (в исследуемом интервале), перекрывающего поровые каналы, пирита и каолинита, могло бы привести к образованию суперколлектор. Есть изолированные вторичные поры ~ 1-2%.	3	14,5	143,4	14,7	3,7
				Песчаник мелко-среднезернистый, с алевритовой примесью, граувакковый аркоз, с кварцевым цементом регенерации, поровым каолининовым цементом, пиритизированный.	Малозаметная микрослоистость намечается ориентировкой некоторых удлиненных обломков и единичных чешуек слюды.	Кварц перекрывает поровые каналы, наросты до 0,1 мм. Частично или почти полностью растворенные обломки ПШ, пустотное пространство, образованное ими, составляет ~ 3%.	3	16,6	104,7	16,5
2	1534	ЮВ ₁ ¹⁻²	Песчаник средне-мелкозернистый, слабо алевритистый, граувакковый аркоз, с кварцевым цементом регенерации, поровым глинистым, карбонатным цементом.	Слабо выраженная микрослоистая, за счет ориентировки удлиненных зерен и глинистых интракласт. Слабо нарушена взмучиванием осадка - некоторые интракласты дезориентированы.	50% кальцита идет на заполнение пор, 50% - на замещение обломочных зерен. «Рыхловатые» микрочешуйчатые агрегаты обладают своей микропористостью - щелевидные микропоры размером менее 0,005 мм между каолининовыми чешуйками. Буроватая седиментогенная глина не дифференцируется в оптическом микроскопе, распределена неравномерно, в отдельных участках.	6	11,3	0,2	12,9	1,24
				Малозаметная микрослоистость намечается ориентировкой некоторых удлиненных обломков.	Порода сильно пористая, обломки кварца могут контактировать с другими зернами посредством наростших шиповидных наростов. Много растворенных ПШ, каолинит в разрозненных чешуйках. Состав обломков: кварца - 45%, ПШ - 39%, обломки пород - 16%, слюда - ед. Есть углефицированный растительный детрит длиной 0,3 мм.	3	20,4	142,0	20,0	91,6

Продолжение таблицы 1

н/п	Номер скважины	Пласт	Керн						ГИС	
			Порода	Текстура	Характерные особенности (шлифы)	Класс коллектора, по А.А. Ханину	Кп по гелию, %	Кпр по Клинкенбергу, мД	Кп, %	Кпр, мД
3	1600	ЮВ ₁ ¹⁻²	<p>Песчаник крупно-среднезернистый, граувакковый аркоз, с кварцевым цементом регенерации, поровым каолиновым, контурно-поровым сидеритовым цементом, пиритизированный.</p>	Беспорядочная - не наблюдается ориентировка в расположении составных частей породы.	<p>Отрицательную роль на ФЕС оказывает сортировка, сидерит, каолинит и повышенное содержание обломков пород. Состав обломков: кварца - 50%, ПШ - 28%, обломки пород - 22%, слюда - нет. Карбонаты представлены пелитоморфным сидеритом, который образует цемент контурно-порового типа. Пелитоморфный сидерит, разрастаясь от стенок пор частично заполняет их. В сидерит редко раскристаллизован до округло-ромбоэдрических зернышек размером 0,01-0,03 мм.</p>	5	11,1	1,8	12,7	1,1
			<p>Песчаник средне-крупнозернистый, мезомиктовый кварцевый, с кварцевым цементом регенерации, пленочно-поровым глинистым цементом.</p>		<p>Аутигенный кварц - в виде наростов до 0,1 мм, частично восстановления граней. Каолинит (1,5%) рыхлый, поры заполняют разрозненные чешуйки, хлорит (0,5%) в прерывистых пленках 0,01 мм толщиной, есть крустификаты. Карбонат единичный по обломкам. Состав обломков: кварца - 60%, ПШ - 24%, обломки пород - 16%, слюда - ед.</p>	1	19,8	1326,7	19,5	67,6
			<p>Песчаник мелко-среднезернистый, с алевритовой примесью, граувакковый аркоз, с кварцевым цементом регенерации, пленочно-поровым глинистым цементом.</p>		<p>Регенерационные наросты кварца до 0,07 мм до 0,1 мм, между аутигенным и обломочным кварцем могут быть диагенетические хлоритовые пленки. Карбонаты представлены доломитом, развивающимся по обломкам, в двух порах - кальцит. Редкие вкрапления пирита. Хлорит - до 1% в виде фрагментарных пленок толщиной до 0,005 мм, каолинит рыхлый и раскристаллизован, чешуйки до 0,05 мм.</p>	3	20,3	374,2	-	-
4	27Р	ЮВ ₁ ¹⁻²	<p>Песчаник мелко-среднезернистый, слабо алевритистый, граувакковый аркоз, кварцевым цементом регенерации, поровым глинистым, карбонатным цементом, слабо пиритизированный.</p>	Микрослоистая за счет ориентировки удлиненных обломков и растительного детрита.	<p>Наросты кварца до 0,08 мм. Каолинит - 4,8%, в виде рыхловатых микрочешуйчатых агрегатов, хлорит - 0,2%, образует очень редкие прерывистые пленки толщиной до 0,005 мм, редко - частично заполняет поры. Карбонаты представлены кальцитом, который развивается по обломкам и в порах. РД - 1%. Много вторичных пор.</p>	4	17,4	17,9	17,3	17,8
			<p>Песчаник крупно-среднезернистый, граувакковый аркоз, с кварцевым цементом регенерации, поровым глинистым цементом.</p>	Слабо выраженная микрослоистая за счет ориентировки некоторых удлиненных обломков и чешуек слюды.	<p>Пирит - в редких скоплениях микроскопических зерен. Каолинит (3%) в разрозненных чешуйках и рыхловатых микрочешуйчатых агрегатах заполняет редкие поры, встречается редкий хлорит (0,5%) и очень редкие прерывистые хлоритовые пленки. РД - два углефицированных обрывка 0,7 и 0,8 мм длиной. Состав обломков: кварца - 45%, ПШ - 32%, обломки пород - 22%, слюда - 1%. Большое количество выщелоченных ПШ.</p>	3	20,8	443,0	20,8	148,7

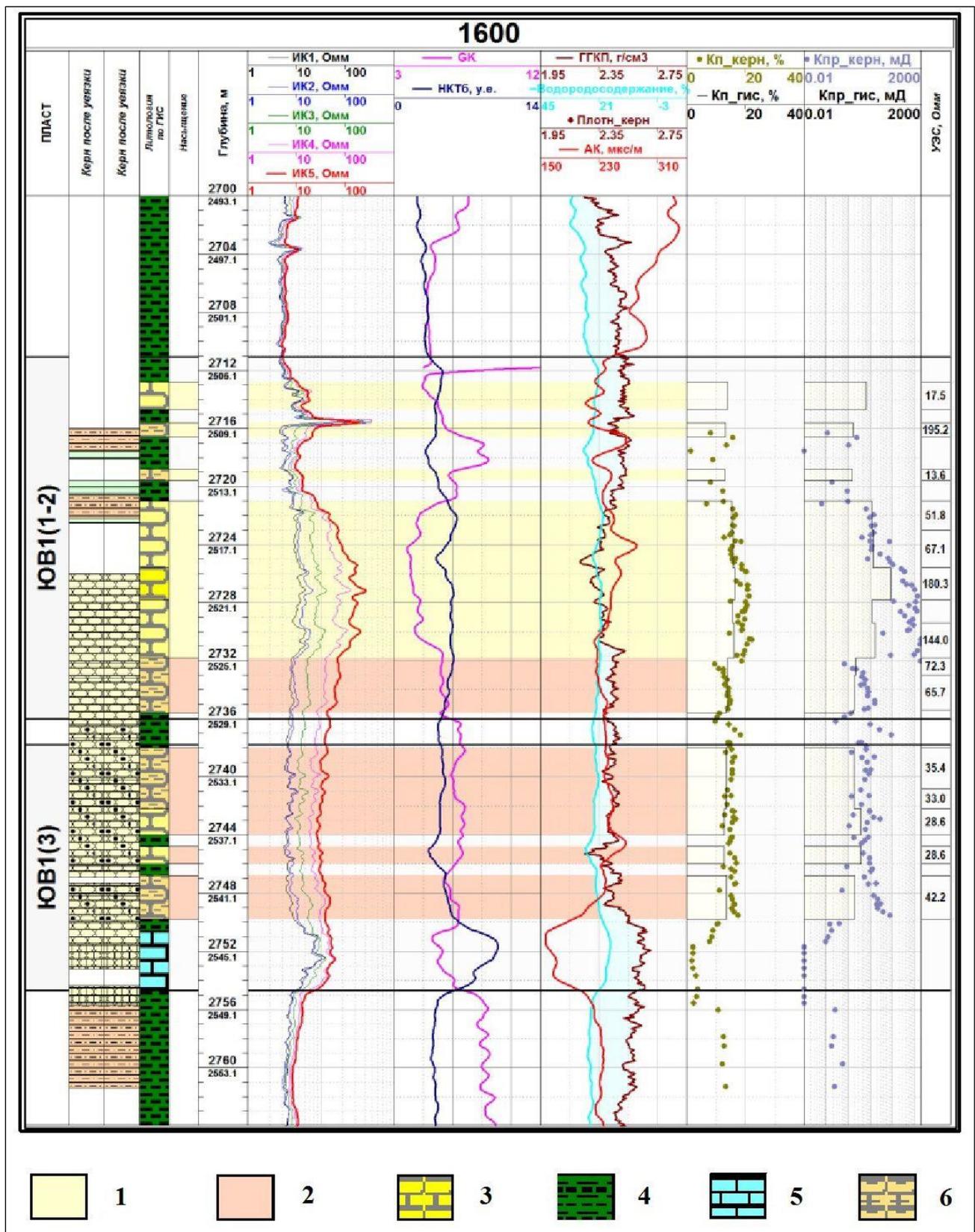


Рис. 3. Планшет кривых геофизических исследований скважин и результаты их интерпретации, керновые данные по скв. 1600 Бахилковского месторождения
 1 - газ, 2 - нефть, 3 - песчаник, 4 - глина, 5 - известняк, 6 - песчаник глинистый.

Таблица 2

Сравнение фильтрационно-емкостных свойств по керну и геофизических исследований скважин пласта ЮВ₁³ Бахилловского месторождения

н/п	Номер скважины	Пласт	Класс коллектора, по А.А. Ханину	Керн		ГИС	
				Кп по гелию, %	Кпр по гелию, мД	Кп, %	Кпр, мД
1	153П	ЮВ ₁ ³	6, 5	11,5 – 13,8	0,55 – 3,8	11,8 – 13,5	0,64 – 1,8
2	1600	ЮВ ₁ ³	6, 5, 4	11,7 – 19,3	0,60 – 89,1	11,6 – 18,4	0,60 – 34,7
3	27Р	ЮВ ₁ ³	5, 4	11,6 – 18,1	1,60 – 47,8	11,9 – 18,4	0,70 – 34,7

Условия седиментации горизонта ЮВ₁, проявления последующей дизъюнктивной тектоники

Условия седиментации. Для образования терригенных суперколлекторов необходимы крупнозернистые хорошо отсортированные песчаники с изначально хорошим коллекторскими свойствами. По современным представлениям горизонт ЮВ₁ (пласты ЮВ₁¹⁻²), относящийся к верхней подсвите васюганской свиты, на изучаемой территории формировался в субаквальных условиях прибрежного мелководья (дельтовый комплекс) [Фищенко, Зверев, Романчев, 2010]. Исследования авторов подтвердили, что наиболее крупнозернистые, хорошо отсортированные высокопористые песчаники (потенциальные суперколлекторы) связаны с отложениями речных русел с влиянием приливов и приливно-отливных каналов, ограниченных пределами врезанных долин, в срединной части горизонта ЮВ₁ (пласты ЮВ₁¹⁻²) (рис. 4). Такое распределение фаций и коллекторских свойств является характерным для всей площади Бахилловского месторождения.

Влияние последующей дизъюнктивной тектоники. Результаты анализа фактических данных показывают, что оптимальные условия седиментации – это не единственный фактор формирования терригенного суперколлектора. Описанные выше условия образования ЮВ₁ имели место по всей площади месторождения, а суперколлекторы выявлены только в районе залежи № 4, наиболее интенсивно осложненной процессами сдвигообразования. По мнению авторов, для проявления эффекта суперколлектора необходима последующая гидротермальная проработка песчаников с изначально хорошими коллекторскими свойствами в зонах активной дизъюнктивной тектоники.

На Александровско-Бахилловской гряде сейсмическими площадными съемками 3D выявлены два фрагмента левостороннего сдвига северо-восточного простирания: между Бахилловским и Верхнеколикъеганским месторождениями на юге Бахилловского мегавала (ООО «Фугро Геосайенс ГмбХ»). Зоны разломов субширотного простирания, развивавшиеся синхронно с формированием юрско-мелового осадочного чехла и позднее возобновившиеся в кайнозое, отражают неотектоническую активность территории [Нассонова, Романчев, 2011], и, вероятно, способствовали гидротермальной проработке резервуаров.

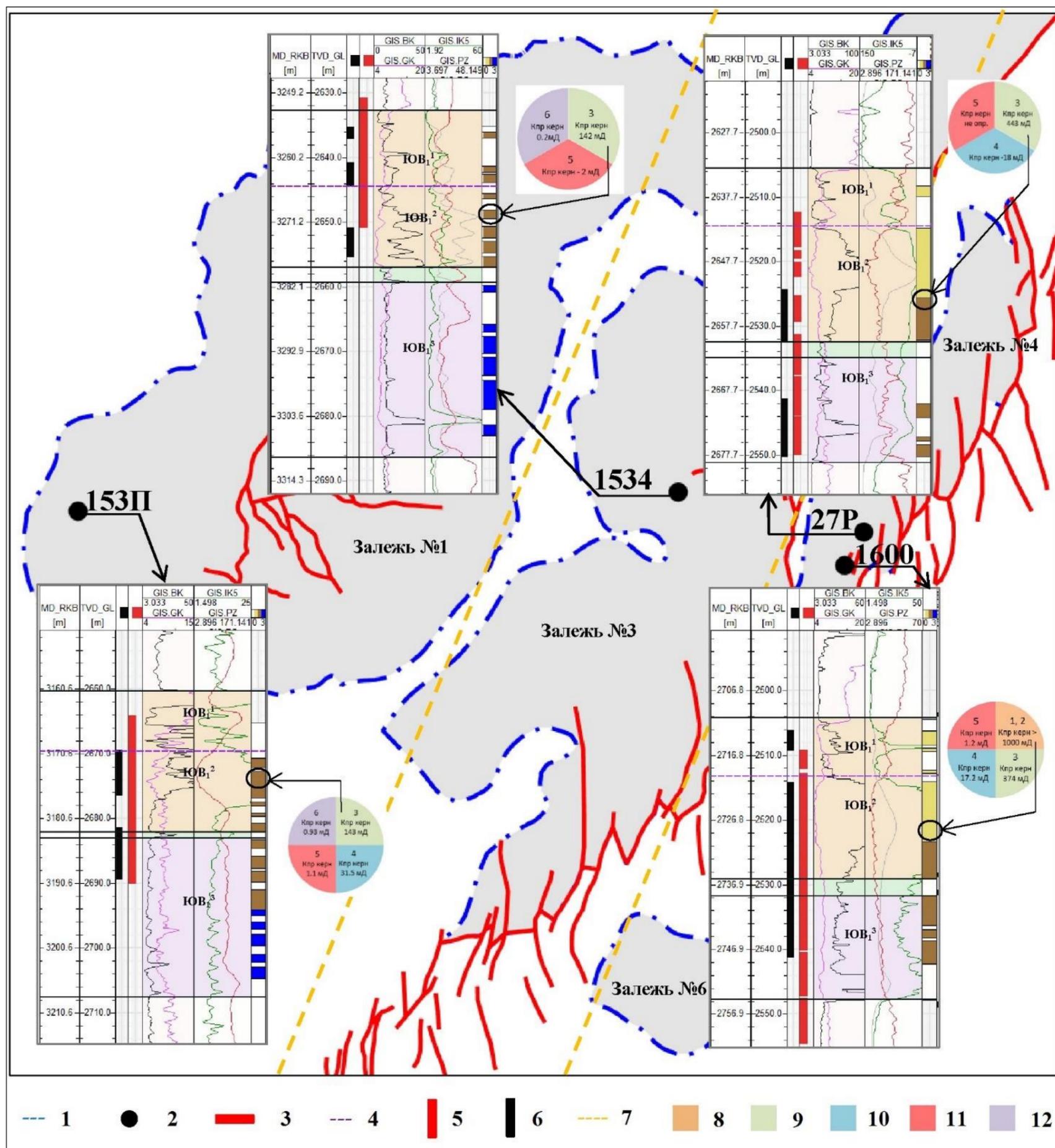


Рис. 4. Карта выноса керн для исследований на Бахилловском месторождении

1 - суммарный контур нефтеносности по объекту разработки ЮВ₁, 2 - скважины с выносом керн, 3 - разломы, 4 - условная граница подошвы пласта ЮВ₁¹, 5 - интервал выноса керн из пласта, 6 - перфорация, 7 - седиментационные зоны, осложненные вторичными процессами, 8 - 1, 2 класс коллектора по А.А. Ханину, 9 - 3 класс коллектора по А.А. Ханину, 10 - 4 класс коллектора по А.А. Ханину, 11 - 5 класс коллектора по А.А. Ханину, 12 - 6 класс коллектора по А.А. Ханину.

Литологическая характеристика резервуаров

Чтобы понять причину высоких дебитов нефти и обводненности в районе залежи № 4, проанализированы данные литологических исследований керна, в особенности проявления процессов наложенного эпигенеза, которые имеют, как правило, весьма разнообразный характер [Лебедев, 1991; Шалдыбин, 2005].

Как уже отмечалось выше, по мнению авторов, для образования терригенного суперколлектора необходима гидротермальная проработка песчаников, обладающих изначально хорошими коллекторскими свойствами. Резервуары горизонта ЮВ₁ Бахилковского месторождения на этапах усиления тектонической активности подвергались наложенному эпигенезу за счет проникновения по зонам разломов термальных (агрессивных) газовой-жидких флюидов. Эпигенетические изменения в данном случае заключаются в частичном растворении и выборочной карбонатизации (в том числе сидеритизации), регенерации кварца, каолинитизации обломочных пород-коллекторов, происходящих неравномерно в разрезе и по площади. При прочих равных условиях наиболее интенсивно процессы эпигенеза протекают в отложениях с максимальной проницаемостью, то есть в коллекторах с изначально высокими значениями ФЕС. Как правило, это наиболее крупнозернистые песчаники. При этом вблизи каналов поступления термальных флюидов преобладают процессы растворения, а на удалении от каналов (по мере снижения температуры и пересыщения раствора продуктами растворения) в таком же хорошем коллекторе превалируют процессы вторичного (аутигенного) минералообразования. По мере «угасания» импульса тектонической активности (снижение объема гидротерм и, вероятно, температуры) разгрузка растворенных компонентов происходит в коллекторах, расположенных вблизи каналов поступления флюидов. Разгрузка проявляется в основном в виде регенерации кварца и образования вторичных глин (иллит, каолинит).

Необходимо добавить, что усиление тектогенеза имеет циклический характер и проявляется неоднократно. Вероятно, что современные значения ФЕС – это результат многократных процессов наложенного эпигенеза.

Для подтверждения высказанной гипотезы выполнен анализ керна по четырем скважинам – 153П, 1534, 1600, 27Р, в пределах месторождения расположенным по широте, с выносом керна более 70%, с полным комплексом ГИС, описанием керна и шлифов (рис. 4) (А.Н. Фищенко, 2009 г.; К.А. Габдрахманова, ООО «ТНЦ», 2008 г., 2014 г., 2019 г.).

В представленном исследовании использована классификация А.А. Ханина, так как она характеризует песчано-алевритовые коллекторы и учитывает гранулометрический и поровый состав, а также содержание связанной воды, эффективные пористость и проницаемость. Результаты анализа приведены ниже.

Песчаники крупно-среднезернистые – суперколлекторы (рис. 5).

Песчаники средне-крупнозернистые, крупно-среднезернистые, как правило, хорошо отсортированные. Минерально-петрографический состав обломков пород псаммитовой размерности связан с их гранулометрией:

- средне-крупнозернистые песчаники по вещественному составу обломочной части характеризуются как мезомиктовые кварцевые (В.Д. Шутов): доля кварца – 62%, ПШ – 24%, обломков пород – 14%, слюды – единичные чешуйки;

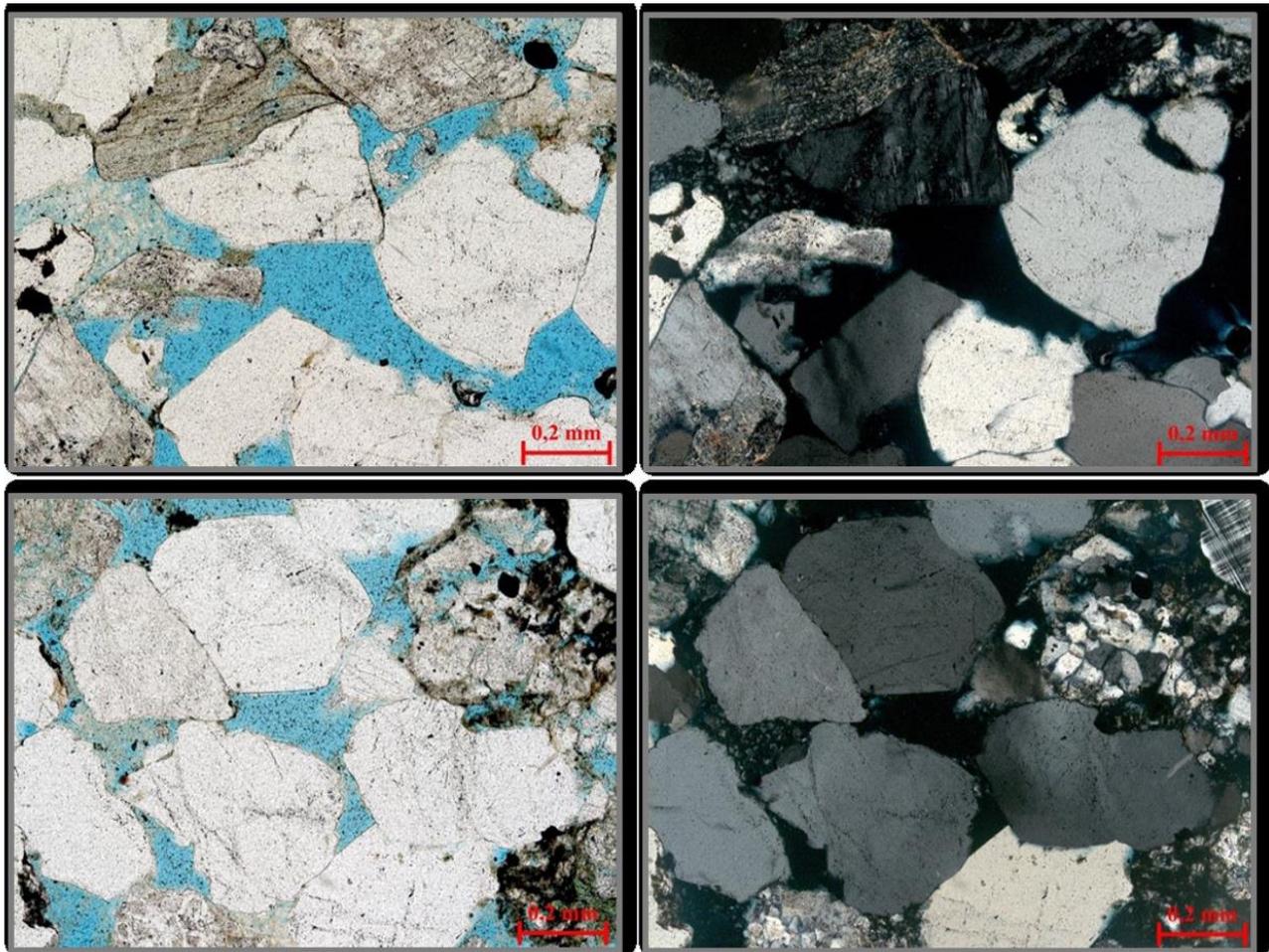


Рис. 5. Фотографии шлифов

Вверху - песчаник средне-крупнозернистый мезомиктовый кварцевый, с кварцевым цементом регенерации, пленочно-поровым глинистым цементом. В центре - открытые гранулярные поры, связанные довольно широким каналом; сверху и снизу - по два обломка контактирующие аутигенными наростами кварца; слева - межзерновая пора, частично заполненная «рыхловатым» микрочешуйчатым каолинитом. Скв. 1600, обр. 18621. Класс коллектора 1, 1326,7 мД (классификация по А.А. Ханину). Вид слева - с одним никодем, справа - в скрещенных николях. Внизу - песчаник средне-крупнозернистый мезомиктовый кварцевый, с кварцевым цементом регенерации, пленочно-поровым глинистым цементом. Открытые гранулярные поры, связанные более узким, чем на рисунке вверху, каналом; сверху слева и снизу справа - прямолинейный и выпукло-вогнутый - структуры зерновых контактов между обломками кварца за счет регенерации; слева - межзерновая пора, частично заполненная «рыхловатым» микрочешуйчатым каолинитом. Скв. 1600, обр. 18634. Класс коллектора 2. Вид слева - с одним никодем, справа - в скрещенных николях.

- крупно-среднезернистые песчаники – граувакковые аркозы, содержание обломков кварца – 45%, ПШ – 30%, обломков пород – 24%, слюды – от единичных чешуек до 1%, то есть, по сравнению с песчаниками средне-крупнозернистыми здесь больше ПШ и обломков пород.

Текстура крупно-среднезернистых песчаников еле заметная микрослоистая, намечается ориентировкой некоторых удлиненных обломков, в средне-крупнозернистых песчаниках текстура беспорядочная – в микроскопе не наблюдается какая-либо ориентировка составных компонентов породы.

Отличительными особенностями данного литотипа, определившими их супер-коллекторские свойства, являются:

- во-первых, крупные открытые поры, связанные каналами различной ширины;
- во-вторых, практически полное отсутствие седиментационного глинистого матрикса.

Цемент песчаников исключительно аутигенный – регенерационный кварцевый, каолинитовый, карбонатный.

Практически полное отсутствие глинистого матрикса в рассматриваемом литотипе, по мнению авторов, объясняется интенсивной проработкой пород гидротермальными растворами, иначе отсутствие его в песчаниках аллювиального и приливно-отливного генезиса трудно объяснить.

Песчаники средне-крупнозернистые и крупно-среднезернистые, с интенсивной вторичной цементацией (рис. 6).

Доказательством интенсивного гидротермального воздействия на объект ЮВ₁ является наличие в разрезе песчаников с аналогичным описанным выше гранулометрическим составом, но с высоким уровнем вторичной цементации. На рис. 6 приведены фотографии шлифов крупно-среднезернистых песчаников из скважин 153П и 1600, практически утративших свои коллекторские свойства из-за интенсивного развития аутигенных цементов: регенерационного кварцевого, карбонатного (только в скв. 153), а также пиритизации.

Еще одним подтверждением интенсивного гидротермального воздействия на пласт является наличие «экзотических» литотипов (неколлекторов) с высокой суммарной долей вторичных карбонатов, иногда с пиритом (до 10-30%), обычно не имеющих широкого распространения в разрезе, но в скв. 153П, расположенной на удалении от основной разломной зоны, они весьма характерны.

Ниже приведено описание типичных литотипов-коллекторов, слагающих основной объем резервуаров горизонта ЮВ₁ Бахиловского месторождения.

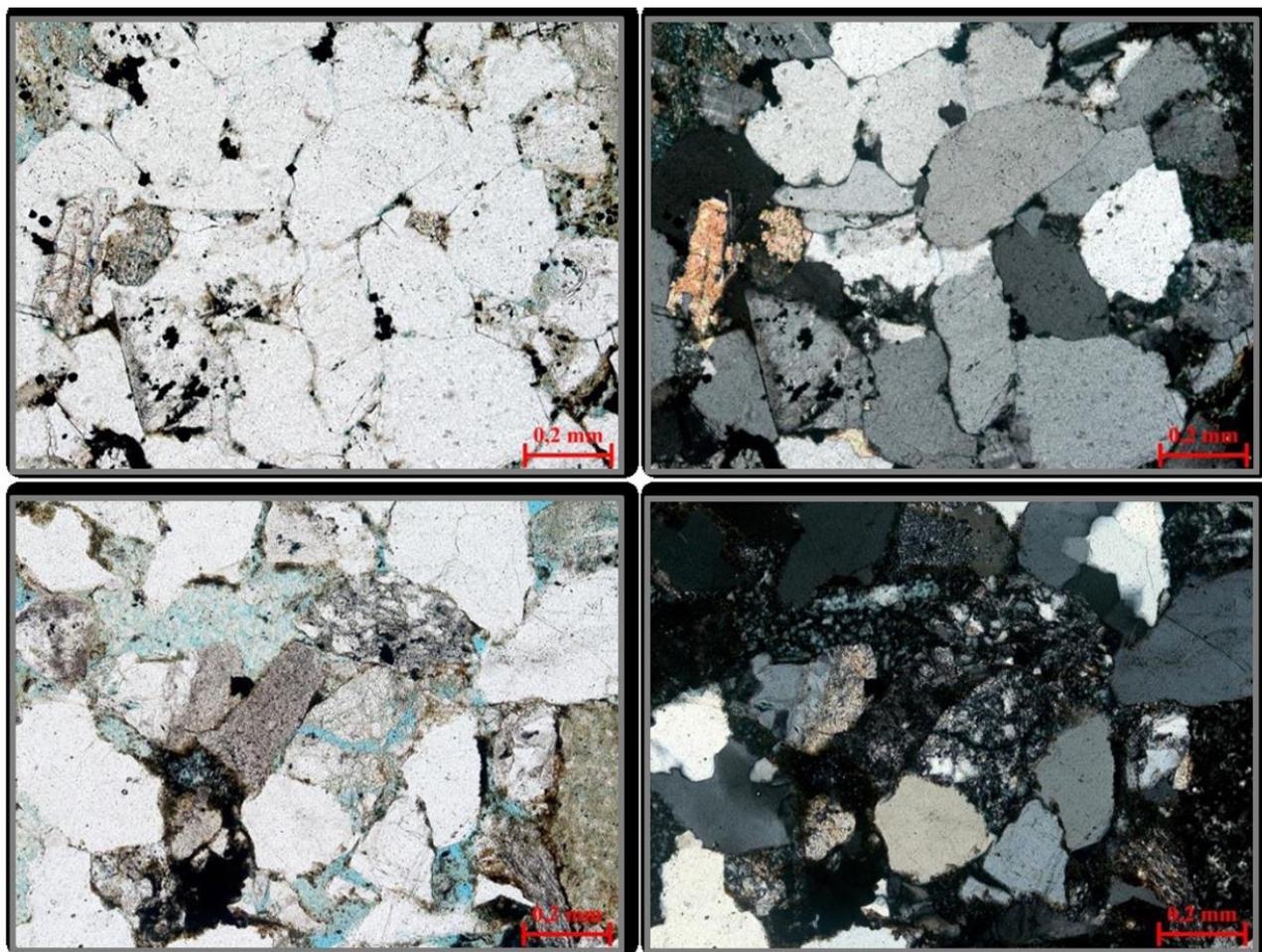


Рис. 6. Фотографии шлифов

Вверху - песчаник крупно-среднезернистый, граувакковый аркоз, с кварцевым цементом регенерации, поровым каолиновым, карбонатным цементом, интенсивно пиритизированный. В этом гранулотипе данный образец больше всех подвергся аутигенезу и, соответственно, у него самые плохие ФЕС. Показательный образец - кварцитовидный участок породы, УВ запечатаны аутигенным кварцем (не смогли раствориться при экстракции образца). Черные точки - пирит; слева - кальцит; по центру правее - реликт межзерновой поры заполненный буроватым из-за ОВ каолинитом. Скви. 153П, обр. 29880. Класс коллектора 5, 1,1 мД (классификация по А.А. Ханину). Вид слева - с одним никодем, справа - в скрещенных николях. Внизу - песчаник крупно-среднезернистый, граувакковый аркоз, с кварцевым цементом регенерации, поровым каолиновым, контурно-поровым сидеритовым цементом, пиритизированный. Ухудшение ФЕС за счет сортировки, сидерита, каолинита и повышенной доли обломков пород. Сверху левее - в поре «рыхловатый» каолинит; в центре - частично растворенный обломок эффузива; черно-бурое - пелитоморфный сидерит, в поре и на стенках пор. Скви. 1600, обр. 18638. Класс коллектора 5. Вид слева - с одним никодем, справа - в скрещенных николях.

Песчаники – коллекторы 3-6 класса (рис. 7, 8).

Песчаники мелко-среднезернистые и средне-мелкозернистые, слабо алевритистые, с хорошей, реже средней сортировкой и с различной степенью выраженной микрослоистой текстуры. По вещественному составу граувакковые аркозы (3-4 класс коллекторов) и полевошпат-кварцевые граувакки – 5 и 6 класс.

Цемент, как и в описанных выше гранулотипах, - вторичный, что также говорит о влиянии на отложения гидротермальных растворов. Представлен аутигенными кварцем,

каолинитом, карбонатами, суммарное содержание примерно такое же – от 9 до 18%. Кварцевый цемент регенерации – от 4 до 8%, в песчаниках, где его относительно много, аутигенный кварц перекрывает поровые каналы. Отмечаются кварцитовидные участки, в которых первичные межзерновые поры полностью запечатаны аутигенным кварцем.

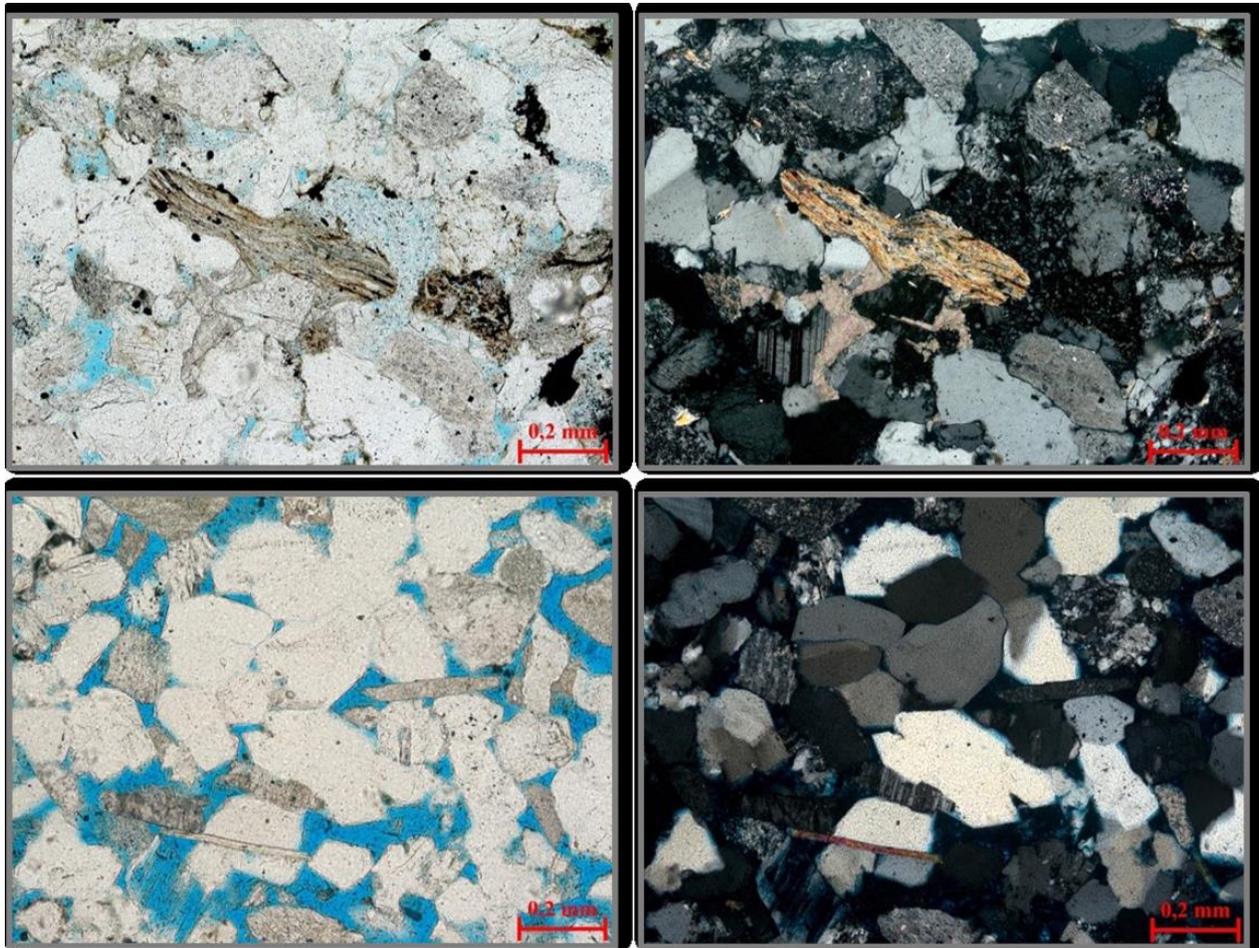


Рис. 7. Фотографии шлифов

Вверху - песчаник мелко-среднезернистый с алевритовой примесью, полевошпат-кварцевая граувакка, с кварцевым цементом регенерации, поровым каолинитовым, карбонатным цементом, пиритизированный. Нередко встречаются удлиненные пластичные обломки микросланцев, которые заполняют собой поры. В центре - между кварцевыми обломками зажат пластичный обломок серицитового микросланца, справа от него поровый каолинит, слева - кальцит. Скв. 153П, обр. 29953. Класс коллектора 6, 0,93 мД (классификация по А.А. Ханину). Вид слева - с одним никодем, справа - в скрещенных николях. Внизу - песчаник средне-мелкозернистый, слабо алевритистый, граувакковый аркоз, с кварцевым цементом регенерации, поровым каолинитовым, карбонатным цементом. Сверху, в центре, чуть слева - разросшиеся кварцевые обломки образуют конформные зерновые контакты и кварцитовидный агрегат; снизу левее - почти полностью растворенный обломок ПШ. Скв. 1534, обр. 2720. Класс коллектора 3. Вид слева - с одним никодем, справа - в скрещенных николях.

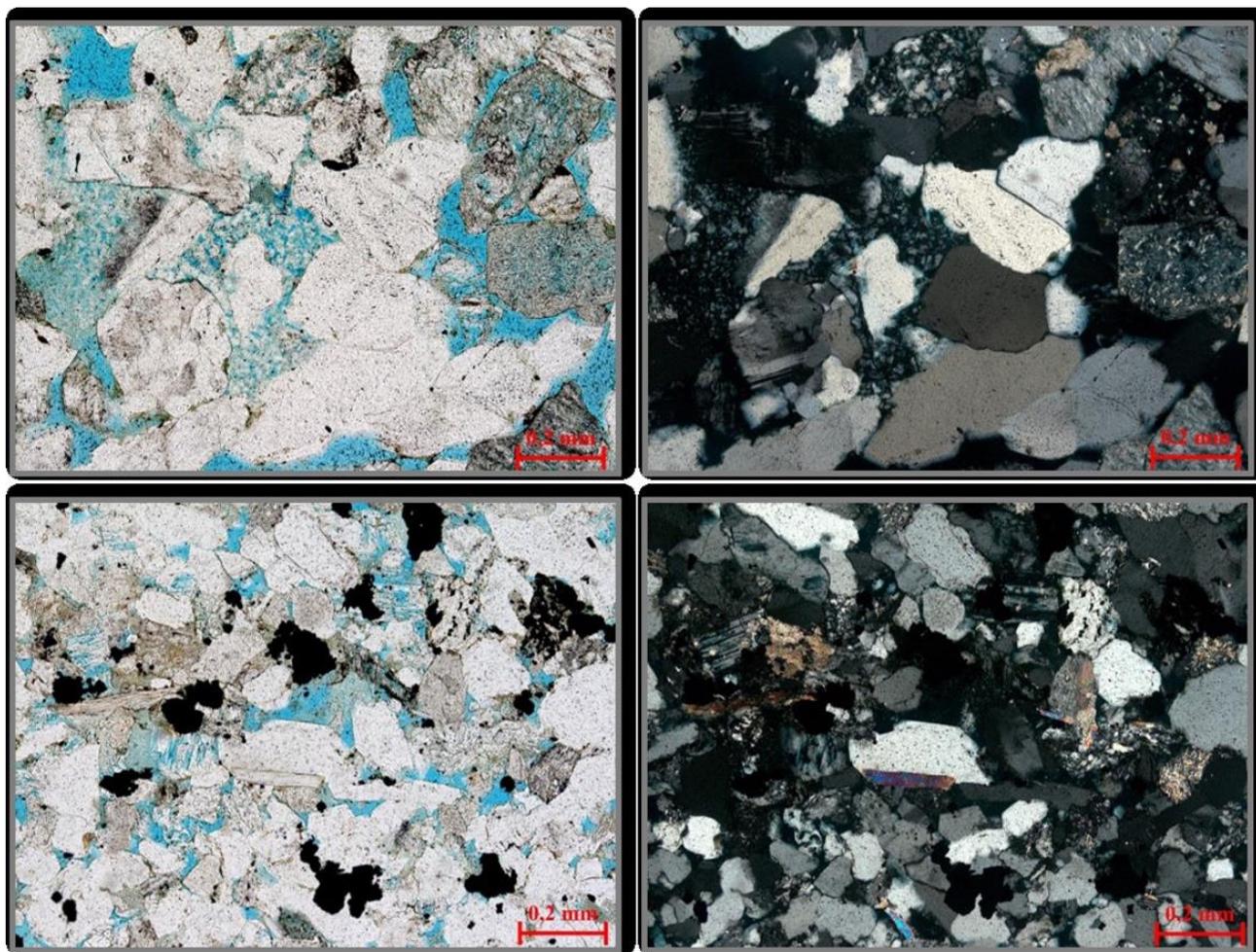


Рис. 8. Фотографии шлифов

Вверху - песчаник мелко-среднезернистый, с алевритовой примесью, граувакковый аркоз, с кварцевым цементом регенерации, пленочно-поровым глинистым цементом. В центре и слева - разрозненные чешуйки каолинита образуют «рыхловатые» агрегаты, обладающие своей микропористостью; справа - хорошие гранулярные поры и частично растворенные зерна ПШ. Скв. 1600, обр. 18609. Класс коллектора 3, 374,2 мД (классификация по А.А. Ханину). Вид слева - с одним никодем, справа - в скрещенных николях. Внизу - песчаник тонко-мелкозернистый слабо алевритистый, граувакковый аркоз, с кварцевым цементом регенерации, пленочно-поровым глинистым цементом, слабо карбонатизированный, пиритизированный. В центре - обломок кварца, регенерированный в виде частичного восстановления кристаллографических граней; черное - пирит. Скв. 27Р, обр. 143. Класс коллектора 4. Вид слева - с одним никодем, справа - в скрещенных николях.

Песчаники – коллекторы 5 – 6 класса (рис. 9).

Песчаники тонко-мелкозернистые и мелко-тонкозернистые от слабо алевритистых до алевритистых, граувакковые аркозы и полевошпат-кварцевые граувакки, с кварцевым цементом регенерации, пленочно-поровым глинистым, поровым карбонатным цементом, в различной степени пиритизированные, сидеритизированные. Сортировка хорошая, реже – средняя. Текстура микрослоистая, иногда осложнена взмучиванием осадка.

Здесь также наблюдается связь между вещественным составом обломочной части и ФЕС – граувакковые аркозы обладают лучшими коллекторскими свойствами, чем полевошпат-кварцевые граувакки.

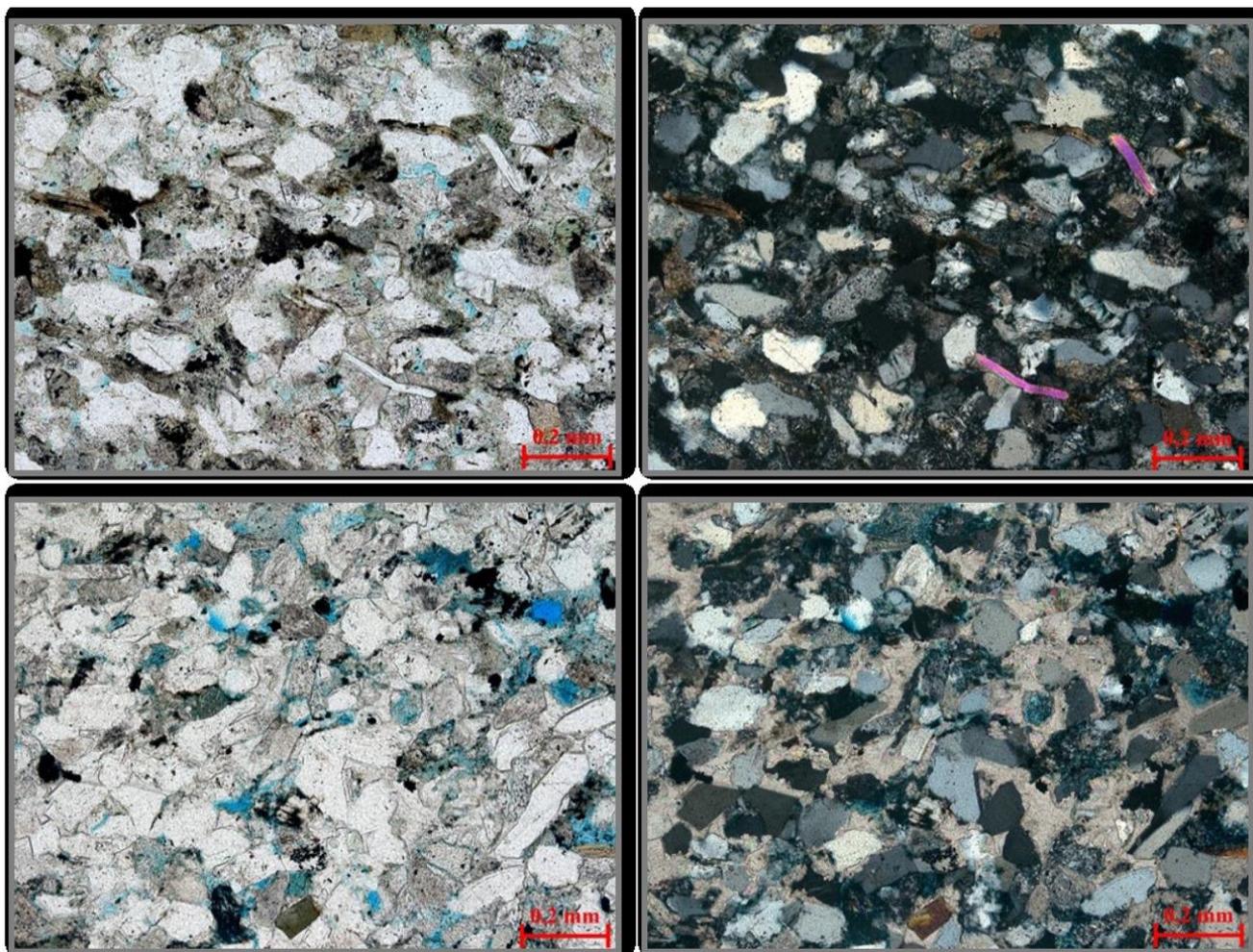


Рис. 9. Фотографии шлифов

Вверху - песчаник мелко-тонкозернистый алевритистый, полевошпат-кварцевая граувакка, с кварцевым цементом регенерации, поровым карбонатным, пленочно-поровым глинистым цементом, пиритизированный, слабо сидеритизированный, с прямыми слойками обогащения растительным детритом. В центре - сидеритизированная чешуйка биотита. Видно, что здесь обломков пород больше. Скв. 1600, обр. 18587. Класс коллектора 5, 1,2 мД (классификация по А.А. Ханину). Вид слева - с одним никодем, справа - в скрещенных николях. Внизу - песчаник тонко-мелкозернистый, алевритистый, полевошпат-кварцевая граувакка, с поровым карбонатным, глинистым цементом, с пиритовыми микроконкрециями, с глинистыми интракластами. Кальцит заполняет поры, частично замещает обломки. Скв. 153П, обр. 29878. Класс коллектора 6 или неколлектор. Вид слева - с одним никодем, справа - в скрещенных николях.

Результаты исследований

В статье под суперколлектором в составе резервуара ЮВ₁ понимается прослой небольшой толщины, проницаемость которого превышает проницаемость соседних прослоев коллекторов на один-два порядка.

Терригенные суперколлекторы выявлены в составе продуктивного горизонта ЮВ₁ залежи № 4 в процессе разработки Бахиловского месторождения на территории Западно-Сибирской плиты. Наличие суперколлекторов привело к ускоренному обводнению скважин. Картирование и учет (в проектных документах) областей распространения суперколлекторов

осложняется тем, что тела, ими слагаемые, уверенно не выделяются по данным стандартного комплекса ГИС.

Для разработки критериев выделения и картирования областей распространения суперколлекторов (выяснение условий формирования) в пластах горизонта ЮВ₁ Бахилковского месторождения, выполнен анализ керн по четырем скважинам – 153П, 1534, 1600, 27Р, с выносом керн более 70%, с полным комплексом ГИС, описанием керн и шлифов.

По мнению авторов статьи, для образования терригенных суперколлекторов необходимо сочетание двух факторов:

- во-первых, наличие песчаников с изначально высокими значениями ФЕС;
- во-вторых, их последующая интенсивная гидротермальная проработка в периоды усиления тектонической активности.

Горизонт ЮВ₁ на изучаемой территории представляет собой дельтовый комплекс, наилучшие коллекторы которого формировались в обстановках русел и приливо-отливных каналов. Однако эти фации отмечаются по всей территории месторождения, а суперколлекторы выявлены только в районе залежи № 4, где продуктивный горизонт наиболее интенсивно осложнен системой сдвиговых дислокаций.

Литологические исследования показали, что резервуары горизонта ЮВ₁ на данном участке подвергались интенсивному эпигенезу за счет проникновения по зонам разломов агрессивных газово-жидких флюидов. Причем максимальное воздействие, способствовавшее образованию суперколлекторов, испытали наиболее крупнозернистые разности с изначально высокой проницаемостью, расположенные в непосредственной близости от разломов – проводников гидротерм. Основанием для такого заключения является практическое отсутствие в суперколлекторах первичного глинистого матрикса. Вероятно, термальные флюиды, поступая в пласты грубозернистых песчаников вблизи разлома, растворяли наиболее тонкие компоненты (мелкий алеврит, седиментогенную глину). Удаляясь по пласту грубозернистых песчаников в сторону от разлома, постепенно остывая и пересыхая продуктами растворения, эти же флюиды способствовали формированию зон интенсивной вторичной цементации. Примеры суперколлекторов и песчаников аналогичного гранулометрического состава с крайне низкими ФЕС вследствие вторичной цементации приведены в статье.

Прямым доказательством интенсивного гидротермального воздействия на резервуары является наличие в разрезах «экзотических» литотипов (неколлекторов) с высокой суммарной долей вторичных карбонатов, иногда сильно пиритизированных.

Основной объем коллекторов 3-6 класса в продуктивном горизонте ЮВ₁ образован мелко-среднезернистыми, средне-мелкозернистыми, тонко-мелкозернистыми и мелко-

тонкозернистыми песчаниками с глинистым и вторичным кварцевым, карбонатным цементом, которые благодаря изначально невысокой проницаемости не подверглись интенсивному влиянию гидротерм. Их примеры также приведены выше.

Выводы

1. Наличие в терригенных резервуарах прослоев суперколлекторов может оказать критическое влияние на процесс разработки залежей, выражающееся в ускоренном обводнении эксплуатационных скважин. Поэтому необходимо выявлять и картировать области их распространения, и учитывать в проектных документах.
2. Условием формирования суперколлекторов в терригенных резервуарах является интенсивная гидротермальная проработка песчаников с изначально высокими значениями ФЕС.
3. В качестве областей риска наличия суперколлекторов в продуктивном горизонте ЮВ₁ Бахилковского месторождения следует рассматривать зоны распространения фаций русел и приливо-отливных каналов, интенсивно осложненные последующим сдвигообразованием, и гидротермальным влиянием на этапах усиления тектонической активности.

Литература

- Лебедев Б.А.* Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. - Л.: Недра: Ленинградское отделение, 1991. - 238 с.
- Насонова Н.В., Романчев М.А.* Геодинамический контроль нефтегазоносности сдвиговыми дислокациями на востоке Западной Сибири // Геология нефти и газа. - 2011. - №4. - С.8-14.
- Политыкина М.А.* Литология и коллекторские свойства карбонатных отложений каменноугольной системы Северной и Центральной частей Оренбургской области в связи с перспективами нефтегазоносности // Диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. - Москва: Моск. ин-т нефтехим. и газовой промышленности им. И.М. Губкина, 1969. - 390 с.
- Фищенко А.Н., Зверев К.В., Романчев М.А.* Сиквенс-стратиграфия продуктивного горизонта ЮВ₁ на территории Бахилковского и Верхнеколик-Ёганского месторождений // Нефтяное хозяйство. - 2010. - № 2. - С. 5-9.
- Шалдыбин М.В.* Геохимические критерии оценки влияния процессов наложенного эпигенеза на фильтрационно-емкостные свойства обломочных пород-коллекторов (на примере нефтяных месторождений Томской области). - Томск: ТПУ, 2005. - 179 с.

Lebedeva I.A., Karikh T.M., Kudamanov A.I.

Tyumen Petroleum Research Center, Tyumen, Russia, ialebedeva2@tnc.rosneft.ru,
tmkarikh@tnc.rosneft.ru, aikudamanov@tnc.rosneft.ru

GENERATION CONDITIONS OF SUPPER RESERVOIRS IN YUV1 UNIT OF THE VASYUGAN FORMATION, WESTERN SIBERIA

During the period of increased tectonic activity in the area of the Bakhilov mega-shaft, conditions were created for the formation of supper reservoirs in terrigenous reservoirs of the YuV1 level Bakhilov oil and gas condensate field, which manifested itself in intensive hydrothermal driving activity of sandstones with already initially high values of filtration-capacity properties. Dissolution processes prevailed near the channels for the influx of thermal fluids, and at a distance from the channels too, as the temperature decreased and the solution became oversaturated with dissolution products, the processes of secondary mineral formation prevailed in an equally good reservoir. With the "extinction" of the impulse of tectonic activity - a decrease in the volume of hydrothermal fluids and, probably, temperature, the unloading of dissolved components took place in reservoirs located near the channels of fluid intake.

The presence of supper reservoir interlayers in terrigenous reservoirs can have a critical impact on the reservoir development process, expressed in the accelerated watering of production wells, therefore, the areas of distribution of supper reservoirs must be identified and mapped.

Keywords: *supper reservoir, YuV1 unit Vasyugan Formation, Bakhilov oil and gas condensate field, Western Siberia.*

References

Fishchenko A.N., Zverev K.V., Romanchev M.A. *Sikvens-stratigrafiya produktivnogo gorizonta YuV1 na territorii Bakhilovskogo i Verkhnekolik-Eganskogo mestorozhdeniy* [Sequence stratigraphy of productive unit YuV1 on the territory of the Bakhilov and Verkhnekolik-Yegan fields]. Neftyanoe khozyaystvo, 2010, no. 2, pp. 5-9.

Lebedev B.A. *Geokhimiya epigeneticheskikh protsessov v osadochnykh basseynakh* [Geochemistry of epigenetic processes in sedimentary basins]. Leningrad: Nedra: Leningradskoe otdelenie, 2011, 238 p.

Nassonova N.V., Romanchev M.A. *Geodinamicheskiy kontrol' neftegazonosnosti sdvigovymi dislokatsiyami na vostoke Zapadnoy Sibiri* [Geodynamic control of oil and gas content by shear faults in the east of Western Siberia]. Geologiya nefti i gaza, 2011, vol. 4, pp. 8-14.

Politykina M.A. *Litologiya i kollektorskie svoystva karbonatnykh otlozheniy kamennougol'noy sistemy Severnoy i Tsentral'noy chastey Orenburgskoy oblasti v svyazi s perspektivami neftegazonosnosti* [Lithology and reservoir properties of carbonate strata of the Carboniferous system of the Northern and Central parts of the Orenburg Region in the context of oil and gas potential]. Disertatsionnaya rabota na soiskanie uchenoy stepeni kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk. Moscow, Mosk. in-t neftekhim. i gazovoy prom-sti im. I.M. Gubkina, 1969, 390 p.

Shaldybin M.V. *Geokhimicheskie kriterii otsenki vliyaniya protsessov nalozhennogo epigenez na fil'ratsionno-emkostnye svoystva oblomochnykh porod-kollektorov (na primere neftyanykh mestorozhdeniy Tomskoy oblasti)* [Geochemical criteria for assessing the influence of superimposed epigenesis processes on poroperm properties of clastic reservoir rocks (a case study of oil fields in the Tomsk Region)]. Tomsk, TPU, 2005, 179 p.

© Лебедева И.А., Карих Т.М., Кудаманов А.И., 2021

